

Umgebungsbedingungen in Büros in Abhängigkeit von der Lüftung - Auswertungen aus dem Projekt „Qualität von Nachhaltigen Bürogebäuden“ (QNB-Projekt)

Version 8 C

23.12.2014

Christian MONN, Thomas LEIBLEIN, Marcel JANSER, Annika FEIGE, Holger WALLBAUM, Lukas WINDLINGER und Thomas HOFMANN

Stichworte

Lüftung, Raumklima, Raumlufte, nachhaltige Bauten, Qualität

Zusammenfassung

Im Rahmen des Projekts „Qualität von nachhaltigen Bauten“ (QNB) wurden siebenundzwanzig Bürogebäude umfassend untersucht. Einerseits wurden messtechnische Parameter erhoben (u.a. CO₂, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit), andererseits breit angelegte Befragungen über Umgebungsfaktoren und arbeitsorganisatorische Faktoren vorgenommen. In der vorliegenden Auswertung werden Bauten mit verschiedenen Lüftungsarten (mechanisch, natürlich, hybrid) verglichen. Mechanisch belüftete Räume wiesen im Sommer Vorteile in Bezug auf die Temperatur und im Winter in Bezug auf die Luftqualität (CO₂) vor. In natürlich belüfteten Räumen wurde im Winter einerseits eine schlechtere Luftqualität als in mechanisch belüfteten Räumen dokumentiert, andererseits eine leicht höhere relative Luftfeuchtigkeit. Die subjektiven Einstufungen deckten sich grösstenteils, jedoch nicht immer mit den gemessenen Parametern zum Raumklima. Dies betrifft vor allem die Luftqualität. Für die messtechnische Bewertung der Luftqualität müssten neben dem CO₂ noch weitere Parameter einbezogen werden. Grundsätzlich wurde in allen Gebäuden messtechnisch und bewertungsmässig mehrheitlich eine gute Qualität festgestellt. Mit Blick auf die Temperaturen könnten diese im Winter gesenkt werden, um den Anforderungen des Energiesparens und in Bezug auf die Anforderungen an die Luftfeuchtigkeit gerecht zu werden, ohne die Komfortansprüche der Nutzenden negativ zu beeinträchtigen.

Indoor air conditions in offices with different ventilation regimes- results from the QSB project (quality of sustainable buildings)

Summary

During the research project “Quality of Sustainable Buildings” (English: QSB, German: QNB), twenty seven buildings were investigated. Objective measurements (air quality CO₂, air temperature, relative humidity) were performed and in addition, data on subjective judgements were collected using questionnaires. The analyses of this paper focus on the characteristics of ventilation (natural, mechanical and hybrid ventilation). Mechanically ventilated buildings indicated some advantages during the summer period with respect to the air temperature and in the winter with respect to the air quality (CO₂). For naturally ventilated buildings, disadvantages during the winter were observed with respect to the air quality (CO₂). The same buildings showed some advantage of a higher relative humidity in the winter period compared with the mechanically ventilated buildings. Subjective judgements did more or less correspond with the measured data. However, some parameters did not. Additional parameters for qualifying indoor air quality (here measured as CO₂ - concentration) need to be considered. In addition, the study showed a quite good quality (measured and judged) for most of the buildings. In order to contribute to energy savings and to achieve a better level of indoor air quality (e.g. humidity), indoor air temperature could be reduced in winter without negatively affecting the comfort requirements of the office users.

1. Einleitung

Im Projekt „Qualität von nachhaltigen Bauten (QNB)“ wurden siebenundzwanzig Bürogebäude untersucht. Hierbei dienten einerseits physikalisch/chemische Messparameter, andererseits Befragungen der Gebäudenutzenden als Datengrundlage für die Auswertungen [1] [2]. „Qualität“ wird im Rahmen des Projektes umfassend verstanden und betrifft Aspekte wie Wirtschaftlichkeit und Energieeffizienz der Gebäude, aber auch Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit der Nutzenden [3].

In diesem Bericht werden Raumklima- und Raumluftbedingungen unter verschiedenen Lüftungsregimen aufgezeigt. Die physikalischen Grössen umfassten Messungen der Temperatur, der relativen Luftfeuchtigkeit und der Luftqualität (mit CO₂ als Indikator). Weitere Parameter wie flüchtige organische Verbindungen (VOC), Partikel, Strahlungswärme, Luftbewegung, Schallpegel oder Beleuchtung wurden ebenfalls gemessen, sie sind jedoch nicht Gegenstand dieser Publikation. In einer begleitenden Befragung der Nutzenden wurden Daten erhoben über die individuelle Einschätzung hinsichtlich Umgebungsparameter, Gesundheit, Arbeitsleistung, sozialem Arbeitsumfeld und arbeitsorganisatorischer Faktoren.

2. Methoden

Die messtechnische Erfassung erfolgte mit State of the Art-Technologien für die Messung von Parametern, die das Innenraumklima betreffen (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, CO₂). Vornehmlich in Grossraumbüros wurden in definierten Gebäudebereichen bis zu neun Sonden an Arbeitsplätzen positioniert. In den Büros wurden die Messgeräte an Orten aufgestellt, die nicht von direkter Sonneneinstrahlung betroffen waren. Die Messdaten wurden über 5-Minuten Intervalle gemittelt und gespeichert. In der Auswertung für diesen Bericht werden nur Daten verwendet, die während der Arbeitszeit im betreffenden Gebäude aufgezeichnet wurden. Durch diese zeitliche Beschränkung werden die für die Gebäudenutzenden relevanten Datenpunkte abgebildet.

Die Befragung erfolgte elektronisch über einen Fragebogen, der unter Wahrung von Vertraulichkeitsansprüchen von den Teilnehmenden beantwortet wurde. Eine Auswahl der dokumentierten Abfragen steht im Fokus dieser Publikation. Um den Umfang des QNB-Projekts zu charakterisieren, sei die Gesamtheit nachfolgend angedeutet. Die Abfragen umfassten die Bereiche:

- Zufriedenheit mit Umgebungsbedingungen (Luft, Klima, Licht etc.)
- Häufigkeit des Auftretens von störenden Innenraumbedingungen
- Häufigkeit des Auftretens von Erschöpfungssymptomen, Hautproblemen, Atemwegs- und Augenbeschwerden
- Zustimmung zu Aussagen, die die Arbeitsleistung, die Arbeitsorganisation und das soziale Arbeitsumfeld betreffen.

Detaillierte Angaben zur Methodik der Befragungen und Messungen können dem wissenschaftlichen Bericht zum Projekt entnommen werden. In die Projekt-Auswertung sind über 6000 beantwortete Fragebögen eingeflossen.

Die Kategorisierung der Gebäude (Gebäudetyp) für die Auswertung erfolgte über die jeweils vorherrschende Lüftungsart. Zwölf Gebäude waren mit mechanischer Lüftung, drei mit ausschliesslich natürlicher Lüftung (Fensterlüftung) und zwölf mit Hybridlüftung (mechanische Lüftung mit der Möglichkeit, die Fenster individuell zu öffnen) ausgestattet. Die für die Auswertungen der subjektiven Angaben verwendeten Skalen wurden wie folgt festgelegt: für die Angaben über die Zufriedenheit mit einer Situation in den letzten drei Wochen (7-skali): 1= vollständig unzufrieden, 2= sehr unzufrieden, 3= eher unzufrieden, 4= teils-teils zufrieden, 5= eher zufrieden, 6= sehr zufrieden, 7= vollständig zufrieden. Für die Häufigkeit des Auftretens einer Situation in den letzten drei Wochen (5- skali): 5= ständig/sehr oft (täglich), 4= eher oft (mehrmals pro Woche), 3= gelegentlich (1 ca. einmal pro Woche), 2= eher selten (weniger als einmal pro Woche), 1=nie.

3. Resultate

Messresultate

Tabelle 1 zeigt einen Überblick über die gemessenen Umgebungsbedingungen aller Gebäude während der Messphasen in der Winter- und Sommerperiode. Im Winter (556 ppm) waren die CO₂-Belastungen der Raumluft höher als im Sommer (471 ppm). Die Temperaturen in den Gebäuden waren im Sommer (23.9) durchschnittlich um 0.9 °C höher als im Winter (23.0), während die relative Luftfeuchtigkeit im Winter (36%) markant niedriger war als im Sommer (51%).

In der folgenden Auswertung wird auf die Verhältnisse in Gebäuden mit verschiedener Lüftungsart eingegangen. Tabelle 2 gibt eine Übersicht der Häufigkeit des Nicht-Einhaltens von ausgewählten Qualitätsanforderungen für die Luftqualität (CO₂), die Temperatur und die

relative Luftfeuchtigkeit in Abhängigkeit von der Lüftungsart. Für die Luftqualität wurde eine Bezugsgrenze von 1000 ppm (Pettenkofer-Zahl) und 1500 ppm als Schwellenwert gewählt. Bei der Temperatur wurden eine obere Grenze von 26.5°C (Sommer) und 24°C (Winter), sowie eine untere Grenze von 20°C (Winter) festgelegt. Für die relative Luftfeuchtigkeit wurde eine untere Grenzen von 30% (bei 22°C entsprechend ca. 5 g/kg) und eine obere Grenze von 50% respektive 60% (bei 26.5°C entsprechend ca. 13.5 g/kg) festgelegt. Diese Grenzen wurden entsprechend den Angaben in praxisrelevanten Schweizerischen Normen [4] [5] gewählt.

Im Sommerhalbjahr konnte in allen Gebäudetypen eine gute Luftqualität mit CO₂-Werten unterhalb 1000 ppm erzielt werden. Im Winter wurde in natürlich belüfteten Räumen ein Wert von 1000 ppm CO₂ in 17% der Zeit überschritten. Insgesamt wurden nur sehr marginale Überschreitungen von 1500 ppm im Winter bei Hybridlüftungen und keine Überschreitungen im Sommer bei allen drei Lüftungsarten festgestellt.

Im Winterhalbjahr wurde ein Temperaturbereich zwischen 20°C und 26.5°C in allen Gebäuden grösstenteils eingehalten. Bei einer Schwelle von 24°C ergeben sich im Winter in mechanisch, natürlich und hybrid belüfteten Gebäuden jedoch häufige Überschreitungen während der Arbeitszeit (in 44, 45, 52% der Messzeit). Im Winterhalbjahr wurden somit in allen Gebäuden eher zu hohe Temperaturen beobachtet (Median: 23.1°C). Im Sommerhalbjahr gab es während 23% der gemessenen Zeit Überschreitungen einer Temperatur von 26.5°C in den natürlich belüfteten Räumen, in den hybridbelüfteten Räumen wurden derartige Überschreitungen in 3% der Arbeitszeit und in 1% bei mechanisch belüfteten Räumen beobachtet.

Bei der relativen Luftfeuchtigkeit wurde die Schwelle von 30% im Winter in mechanisch belüfteten Räumen während 21% der Zeit, in natürlich belüfteten Räumen während 12%, und in hybridbelüfteten Räumen während 16% der Zeit unterschritten.

Im Sommer ergaben sich in mechanisch belüfteten Räumen in 26% der Zeit Überschreitungen von 60% relativer Luftfeuchtigkeit. Die Häufigkeit der Überschreitungen lag in den beiden anderen Fällen bei 9% (Hybridlüftung) bzw. bei 8% (natürliche Lüftung).

Befragung subjektive individuelle Einstufungen

Die Qualität der Raumluft und des Raumklimas wurde durch die Nutzenden mittels Fragebögen bewertet. Dabei wurde einerseits die Zufriedenheit mit den jeweiligen Bedingungen (z.B. Temperatur, Luftqualität) und andererseits die Häufigkeit des Auftretens

ungünstiger Bedingungen (z.B. zu warm, zu kalt, abgestandene Luft, trockene Luft) erfragt. Abbildung 1a und 1b zeigen die Zufriedenheit mit der Temperatur und der Luftqualität für die Sommer- und Winterperiode. Auf einer Skala von eins bis sieben gilt ein Wert von vier als neutral.

In mechanisch belüfteten Räumen gab es bei der Zufriedenheit mit der Temperatur keine Differenz zwischen Sommer und Winter. Die Zufriedenheit mit der Temperatur wurde gemäss der resultierenden Skalenwerte im Winter und im Sommer allgemein leicht positiv bewertet (4.3 Skalenpunkte). Bei der Luftqualität war die Zufriedenheit im Sommer um 0.2 Skalenpunkte grösser als im Winter, allerdings wurde letztere mit einem Wert im neutralen Bereich liegend (Skalenwert 4.0), moderat bewertet.

In natürlich belüfteten Räumen wurde die Zufriedenheit mit der Temperatur im Sommer um 0.6 Skalenpunkte ungünstiger bewertet als im Winter. Im Winter war die Zufriedenheit mit der Temperatur um 0.1 Skalenpunkte grösser als in mechanisch belüfteten Räumen. Mit der Luftqualität waren die Nutzenden im Sommer und im Winter (Skalenwerte bei ca. 4.25) tendenziell eher zufrieden. Diese Einstufungen lagen etwa im Bereich der Zufriedenheit in den mechanisch belüfteten Räumen im Sommer (Skalenwert fast 4.3).

In Bauten mit Hybridlüftung waren im Winter die Zufriedenheit mit der Temperatur und die Zufriedenheit mit der Luftqualität um ca. 0.15 Skalenpunkte grösser als im Sommer. Die Zufriedenheit mit der Temperatur war im Vergleich zur mechanischen Lüftung geringer (im Sommer mehr als 0.3 Skalenpunkte und im Winter mehr als 0.2 Skalenpunkte). Im Vergleich zur natürlichen Lüftung war die Zufriedenheit mit der Temperatur im Sommer um mehr als 0.15 Skalenpunkte grösser, allerdings im Winter um 0.25 Skalenpunkte niedriger. Die Zufriedenheit mit der Luftqualität bei Hybridlüftung war leicht geringer als bei natürlicher Lüftung (im Sommer knapp 0.2 Skalenpunkte und im Winter weniger als 0.1 Skalenpunkte). Im Vergleich zur mechanischen Lüftung war die Zufriedenheit mit der Luftqualität im Winter um ca. 0.15 Skalenpunkte grösser, allerdings im Sommer um ca. 0.25 Skalenpunkte niedriger.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass die mechanische Lüftung im Vergleich zur natürlichen Lüftung während der Sommermessung für beide Parameter höhere Zufriedenheitswerte erreichte (etwa 0.5 Skalenpunkte höher bei der Zufriedenheit mit der Temperatur, knapp 0.05 Skalenpunkte höher bei der Zufriedenheit mit der Luftqualität). Die natürliche Belüftung erzielte für beide Parameter im Winter die höchsten Zufriedenheitswerte.

In den Abbildungen 2a bis 2d werden Häufigkeiten des Auftretens von störenden Innenraumbedingungen aufgezeigt. Abweichend zu den Angaben der Skalenwerte zur Zufriedenheit wird hier eine fünfstufige Skala verwendet. Die Darstellung der Ergebnisse zu den abgefragten Umgebungsparametern erfolgte entsprechend der Art der Lüftung.

In mechanisch belüfteten Räumen ergaben sich zwischen Sommer und Winter nur geringe Unterschiede in Bezug auf die Bewertung der Temperatur („zu warm“, „zu kalt“). Für beide Jahreszeiten und Parameter wurden eher positive Bewertungen abgegeben (Skalenwerte über 2.2). Abgestandene und trockene Luft wurde leicht häufiger im Winter konstatiert (Differenz zum Sommer um 0.2 Skalenpunkte), aber auch hier wurden für beide Jahreszeiten eher positive Bewertungen abgegeben, d.h. Auftretenshäufigkeiten unter einem Wert von 3 (Skalenwerte zwischen 2.5 und 2.8).

Bei natürlicher Lüftung ergaben sich grössere jahreszeitliche Unterschiede bei den Befragungen zur Temperatur. Im Sommer wurden häufiger „zu warme“ Temperaturen (Skalenwert knapp 3.5) zurückgemeldet als im Winter (Skalenwert knapp 2.5). Im Winter wurde die Temperatur häufiger als „zu kalt“ bewertet als im Sommer (Skalenwerte 2.2 und 1.8), allerdings lagen beiden Bewertungen in einem neutralen bis guten Bereich. Die Luftqualität wurde in natürlich belüfteten Räumen häufiger als „abgestanden“ eingestuft als in mechanisch belüfteten Räumen (Skalenwerte grösser 3). Im Winter wurde bei natürlicher Lüftung leicht häufiger zu trockene Luft konstatiert als im Sommer (Skalenwerte zwischen 2.9 im Winter und 2.6 im Sommer). In beiden Jahreszeiten lagen die Bewertungen jedoch in einem neutralen bis leicht positiven Bereich (Skalenwert unterhalb 3).

Die bei der Einstufung eher positive Bilanz der natürlichen Belüftung hinsichtlich Luftqualität im Winter und im Sommer, bzw. Temperaturen im Winter (vgl. Abb. 1a und 1b) fällt bei den Einschätzungen der Häufigkeit des Auftretens bestimmter Umgebungsfaktoren (vgl. insbes. Abbildungen 2c und 2d) tendenziell eher schlechter aus und lässt die natürliche Belüftung in einem anderen Licht erscheinen.

Bei den Hybrid belüfteten Gebäuden lagen die Einstufungen oftmals zwischen den Bewertungen der natürlich und mechanisch belüfteten Gebäude. Bei der Einstufung zur Umgebungssituation „zu kalt“ sind die Bewertungen allerdings leicht schlechter als bei den anderen Lüftungsarten, sowohl im Sommer als auch im Winter. In Bezug auf die Abgestandenheit der Luft sind die Bewertungen leicht schlechter als bei der mechanischen Lüftung aber leicht besser (Skalenwert im Schnitt Winter und Sommer kombiniert ca. 3.15) als bei der natürlichen Lüftung (Skalenwert im Schnitt Winter und Sommer kombiniert ca.

3.3). In Bezug auf die Trockenheit wurde im Winter im Vergleich zu den anderen Lüftungsarten die schlechteste Bewertung beobachtet (Skalenwert 3.0).

4. Diskussion

In diesem Bericht werden Messdaten für die Raumluftqualität (Indoor Air Quality - IAQ) und individuelle Einschätzungen ausgewählter Umgebungsbedingungen durch die Nutzenden aufgezeigt. Die Kategorisierung der untersuchten Gebäude erfolgte nach Art der Lüftung. Die Stärken und Schwächen der einzelnen Lüftungsarten können aus den Ergebnissen abgeleitet werden. Nicht unerwartet ergaben sich Nachteile bei natürlicher Lüftung hinsichtlich der auftretenden Temperatur im Sommer. Die Einstufung der Nutzenden und die Messwerte zeigen auf, dass im Sommer häufiger „zu warme“ Situation auftreten und eine grössere Zufriedenheit mit der Temperatur im Winter als im Sommer vorhanden ist. Allerdings ist die Zufriedenheit auch im Sommer noch immer in einem neutralen bis guten Bereich bewertet worden. Betroffene Personen arrangieren sich offenbar mit der natürlichen Lüftungs-Situation und tolerieren höhere Temperaturen im Gebäude. In mechanisch belüfteten Gebäuden war die Zufriedenheit mit der Temperatur im Sommer grösser als in natürlich belüfteten Räumen, im Winter allerdings niedriger. Die Häufigkeit des Auftretens von Umgebungssituationen wie „zu warm“ oder „zu kalt“ lag bei der mechanischen Lüftung in einem neutralen bis guten Bereich. Die messtechnisch erfassten Daten zeigen, dass im Winter grundsätzlich eher zu hohe Temperaturen (Mittelwert aller Gebäude im Winter 23.0°C) in Gebäuden bei allen drei Lüftungskategorien vorherrschten.

Die Zufriedenheit mit der Luftqualität war im Winter in natürlich belüfteten Räumen leicht grösser als in mechanisch belüfteten Räumen (im Sommer war die Einstufung etwa gleich gross). Bei der subjektiven Angabe über die Häufigkeit von trockener Luft stellt sich in den natürlich belüfteten Räumen eine schlechtere Situation im Vergleich zu den mechanisch belüfteten Räumen dar. Im Winter wurde bei beiden Lüftungsarten die Luft häufiger als „zu trocken“ eingestuft als im Sommer. Allerdings liegen die Aussagen auch im Winter in einem neutralen Bereich. Im Gegensatz dazu zeigten die messtechnischen Daten knapp doppelt so häufige Unterschreitungen eines Wertes von 30% relativer Luftfeuchtigkeit in mechanisch belüfteten Räumen, verglichen mit natürlich belüfteten Räumen.

Abgestandene Luft wurde subjektiv in natürlich belüfteten Räumen häufiger angegeben als in mechanisch belüfteten Räumen, dies häufiger im Sommer als im Winter. Dies ist erstaunlich, da im Sommer die Fenster häufiger geöffnet werden und somit zu einem intensiveren

Luftaustausch zwischen Innenraum und Aussenumgebung beitragen. Einflüsse durch die Aussenluft und anderer Bewertungsfaktoren (z.B. mögliche Verschlechterung der Luftqualität durch vermehrtes Schwitzen) für den Begriff „Abgestandenheit“ sind daher vorhanden. Ebenso ist bekannt, dass wärmere Luft häufig schlechter beurteilt wird als kühlere Luft. Messtechnisch sind die Befunde klar. Im Winter traten in Gebäuden mit natürlicher Lüftung häufiger CO₂-Belastungen oberhalb 1000 ppm auf als im Sommer. Es stellt sich deshalb die Frage, ob CO₂ als alleiniger Indikator für die Luftqualität genügend ist. In der Literatur werden verschiedene Ansichten bzgl. des Zusammenhangs zwischen CO₂-Konzentration, der Exposition, beobachtbaren Gesundheitseffekten und Leistungseffekten diskutiert [6] [7] [8]. Innerhalb des Projektes wurden noch weitere Luftparameter gemessen. Bei den VOC ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gebäuden mit unterschiedlichen Belüftungssystemen. Bei den ebenfalls durchgeführten Messungen von Staubpartikeln wurde über die Gebäudegesamtheit nicht umfassend genug gemessen, so konnten keine übergeordneten Aussagen zur Bewertung der Räume hinsichtlich der Staubpartikelkonzentration gemacht werden.

5. Schlussfolgerungen

Zusammenfassend wird auf Grundlage der vorgestellten Auswertungen in diesem Bericht empfohlen, die Innenraum-Temperaturen in Bürogebäuden im Winter tendenziell zu senken. Dies wird sowohl aus energetischen Gründen, als auch in Bezug auf eine damit einhergehende mögliche Verbesserung der relativen Luftfeuchtigkeit als sinnvoll erachtet. Da in Zukunft absehbar mehr Gebäude mechanisch belüftet und klimatisiert werden, können die Temperaturen für eine grössere Anzahl der Arbeitnehmenden besser gesteuert und Sollwerte somit einfacher erfüllt werden. Eine generelle Überprüfung von Komfortbedingungen für Raumklima und Raumlufbeschaffenheit und deren Effekte auf die Gebäudenutzenden wird wissenschaftlich immer differenzierter diskutiert [9] [10] [11].

Problematisch bei natürlicher Lüftung sind Standorte mit hoher Aussenluftbelastung (z.B. NO₂, PM₁₀, PM_{2.5} oder Ozon im Sommer), da diese Stoffe durch geöffnete Fenster direkt in die Räume gelangen können und die umgebende Raumlufatmosphäre der Gebäudenutzenden negativ beeinflusst. Mechanische Lüftungsanlagen mit guten Filterleistungen für Partikel und einem regelmässigen Wartungsintervall seien hier angezeigt.

In diesem Bericht wurden exemplarisch einige Umgebungsaspekte des QNB-Projektes dargestellt und für eine Auswertung miteinander in Bezug gesetzt. Weitere Auswertungen zu übergeordneten Fragestellungen, über Fragen zum energierelevanten Verhalten oder in Bezug auf erklärende Faktoren für die Zufriedenheit, Leistungsfähigkeit und Gesundheit,

werden en détail im wissenschaftlichen Bericht erörtert. Die Diskussionen darin decken vielfältige Dimensionen bei der Betrachtung eines Gebäudes, respektive eines Arbeitsplatzes, ab. Abgeleitet aus den zusammenfassenden Erkenntnissen aus dem Projekt wird ein Leitfaden für nachhaltige Gebäude erstellt, der sowohl Planern und Bauherren als auch Betreibern und Nutzern von Bürogebäuden bei der Umsetzung nutzerorientierter Nachhaltigkeit dienlich sein soll. Ein Einklang zwischen Nutzung, verantwortungsvollem Umgang mit vorhandenen (energetischen) Ressourcen und dem Bereitstellen von gesunden Arbeitsplätzen, die eine gute Leistungsfähigkeit erlauben, ist zukunftsweisend. Eine notwendige Berücksichtigung stellt für Arbeitgebende und Arbeitnehmende ein beachtungswürdiges Potential dar.

Literatur

- [1] Janser M., Windlinger L. (2013). Kurzzusammenfassung bisheriger Erkenntnisse aus dem Projekt „Qualität von nachhaltigen Bauten - Auswirkungen von nachhaltigen Bürogebäuden auf Komfort, Gesundheit und Arbeitsleistung der Nutzenden“. Symposium ETH Zürich 13. Juni 2013.
URL: <http://www.alenii.ch/cm4all/iproc.php/Symposium%20KTI-QNB%20Zusammenfassung.pdf?cdp=a>
- [2] Feige A., Wallbaum H., Janser M., and Windlinger L. (2013). Impact of sustainable office buildings on occupant's comfort and productivity. Journal of Corporate Real Estate Vol. 15 (1), pp. 7-34.
- [3] Leiblein T., Feige A., Janser M., Monn C., Wallbaum H., Windlinger L., and Hofmann T. (2014). Field Study of Natural, Mechanical and Hybrid Ventilation Systems of 27 Office Buildings in the Temperate Zone country Switzerland. In: Proceedings of Indoor Air 2014, Hong Kong. Topic B4: Ventilation. ISIAQ - International Society of Indoor Air Quality and Climate, Vol. IV, pp. 324-331.
- [4] Norm SN 546 382-11: 2014 (Schweizer Norm). Lüftungs- und Klimaanlage - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen.
- [5] Norm SN 520 180: 2014 (Schweizer Norm). Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden.
- [6] Satish U., Mendell M.J., Shekhar K., Hotchi T., Sullivan D., Streufert S., and Fisk W.J. (2012). Is CO₂ an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-moderate CO₂ Concentrations on Human Decision-making Performance. Environmental Health Perspectives, 120(12), pp. 1671-1705.
- [7] Justo Alonso M., Mathisen H.M., and Halvarsson J.: Case study of window and ventilation refurbishment – simulation on indoor environment quality. In: Proceedings of Indoor Air 2014, Hong Kong. Topic B4: Ventilation. ISIAQ - International Society of Indoor Air Quality and Climate Vol. IV, pp. 243-251.
- [8] Zhang X., Wargocki P., and Lian Z. (2014). Literature Survey on the Effects of PURE Carbon Dioxide on Health, Comfort and Performance. In: Proceedings of Indoor Air 2014, Hong Kong. Topic A10: Public health and exposure studies. ISIAQ - International Society of Indoor Air Quality and Climate, Vol. II, pp. 1009-1011.
- [9] Bluyssen P.M., Aries M., and van Dommelen P. (2011). Comfort of workers in office buildings: The European HOPE project. Building and Environment 46, pp. 280-288.
- [10] de Dear R.J., Akimoto T., Arens E.A., Brager G., Candido C., Cheong K.W., Li B., Nishihara N., Sekhar S.C., Tanabe S., Toftum J., Zhang H., and Zhu Y. (2013). Progress in thermal comfort research over the last twenty years. Indoor Air 23(6), pp. 442-461.
- [11] van den Ouweland E., Wim Zeiler W., de Kort Y., Nierman G., Maassen W., Boxem G. (2014). Perceived Comfort in Offices; A Holistic Approach. In: Proceedings of Indoor Air 2014, Hong Kong. Topic A7: Thermal comfort. ISIAQ - International Society of Indoor Air Quality and Climate Vol. II, pp. 443-450.

6. Anschriften

Christian MONN, Dr. sc. nat., Privatdozent

Staatssekretariat für Wirtschaft (SECO)

Grundlagen Arbeit und Gesundheit

Holzikofenweg 36

CH - 3003 Bern

Telefon: + 41 58 322 69 14

Telefax: + 41 58 322 78 31

Thomas LEIBLEIN, MSc ZFH in Life Sciences, Dipl.-Ing. (FH), wissenschaftlicher Mitarbeiter

Marcel JANSER, MSc in Psychologie, wissenschaftlicher Mitarbeiter

Lukas WINDLINGER, Prof. Dr.

Thomas HOFMANN, Dozent

ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

IFM Institut für Facility Management

Grüental, Postfach

CH - 8820 Wädenswil

Annika FEIGE, Dr., Dipl.-Ing., Senior Consultant

Real Estate Advisory Services

Jones Lang LaSalle GmbH

D - 40221 Düsseldorf

Holger WALLBAUM, Prof. Dr.-Ing.

Professur für Nachhaltiges Bauen

Bau - und Umweltingenieurwissenschaften

CHALMERS University of Technology

SE - 412 96 Göteborg, Schweden

Tabellen

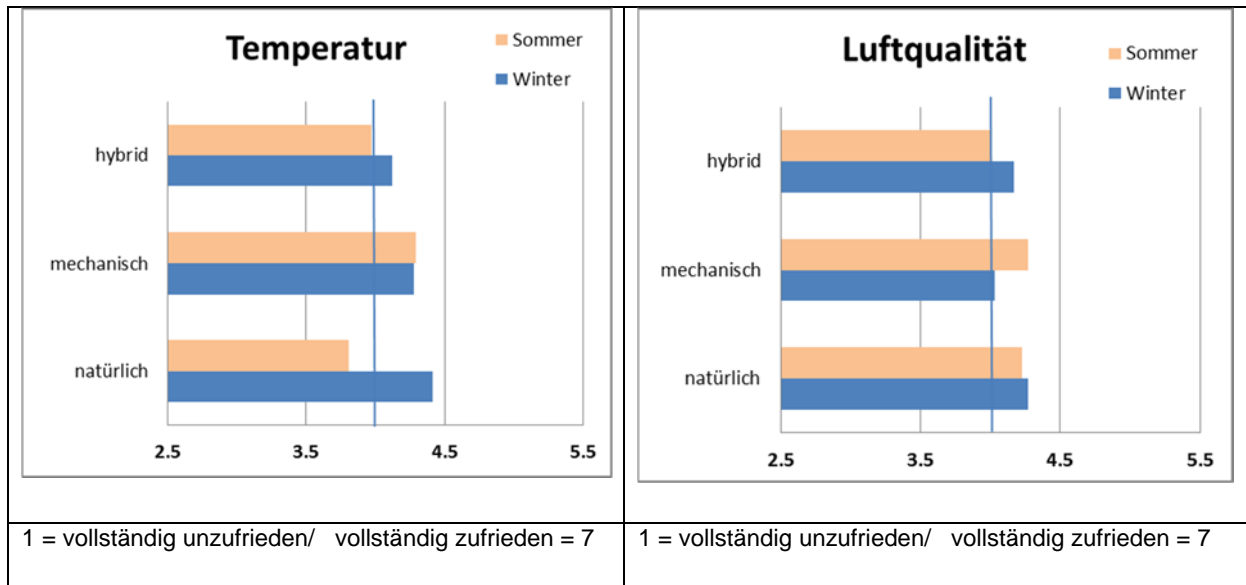
Tabelle 1: Deskriptive Statistik der gemessenen Umgebungsparameter Kohlendioxid (CO₂), Temperatur (in °C) und relative Luftfeuchtigkeit in % (rel. Lf.). Mittelwert, Median, SD: Standardabweichung, Minimum und Maximum).

	Winter			Sommer		
	CO ₂ ppm	Temperatur °C	rel. Lf. %	CO ₂ ppm	Temperatur °C	rel. Lf. %
Mittelwert	556	23.0	36	471	23.9	51
Median	510	23.1	37	461	24.0	50
SD	129.7	0.61	5.5	40.2	1.1	6.3
Min.	418	21.9	23	428	22.4	43
Max.	972	23.9	44	566	26.1	66

Tabelle 2: Häufigkeiten des Nicht-Einhaltens von Qualitätsnormen für die Raumluft und das Raumklima. Angabe in Prozent der Messzeit während des Tages 08.00 Uhr bis 18.00 Uhr Mittwoch bis Freitag (Zugrunde gelegte Definition Sommerhalbjahr: April bis September, Winterhalbjahr: Oktober bis März). Prozentangaben, gerundet auf ganze Zahl.

.....Lüftungsart	Natürlich	Mechanisch	Hybrid
	[% der Messzeit]	[% der Messzeit]	[% der Messzeit]
<u>CO₂ Konzentration - Winter</u> Grösser 1000 ppm	17	1	7
<u>CO₂ Konzentration - Winter</u> Grösser 1500 ppm	0	0	3
<u>CO₂ Konzentration</u> - Sommer grösser 1000 ppm	0	0	0
<u>Temperatur - Winter</u> kleiner 20°C	1	0	1
<u>Temperatur - Winter</u> grösser 24°C	45	44	52
<u>Temperatur - Winter</u> grösser 26.5°C	1	0	1
<u>Temperatur - Sommer</u> kleiner 20°C	0	0	0
<u>Temperatur - Sommer</u> grösser 26.5°C	23	1	3
<u>Luftfeuchtigkeit - Winter</u> kleiner 30%	12	21	16
<u>Luftfeuchtigkeit - Winter</u> grösser 50%	0	1	9
<u>Luftfeuchtigkeit - Sommer</u> kleiner 30%	0	0	1
<u>Luftfeuchtigkeit - Sommer</u> grösser 60%	8	26	9

Bilder



Bilder 1a und 1b: Bewertung von Umgebungssituationen. Einstufung der Zufriedenheit mit der Temperatur und der Luftqualität (Skala 1 bis 7; 1 = nicht zufrieden, 7 = zufrieden). N = 6057. Standardabweichung der Skalenwerte (SD) im Durchschnitt für Temperatur 1.51 (min. 1.44, max.1.57), Luftqualität 1.54 (min. 1.48, max. 1.66)

